



UPPSALA
UNIVERSITET

Att mäta det mänskliga bidraget – går det?

Nya metoder vid studier av tågtrafikledares arbete

Anders Arweström Jansson
Department of Information Technology
Uppsala University

Tågtrafikledaren som expert – två nya studier

Ögonrörelser och blickbeteende

Exploring Visual Maturity:
A First Look at Eye Behaviour in Train Traffic Control

Carl-Anton Werner Axelsson
Department of Education, Uppsala University

Anders A. Jansson
Department of Information Technology, Uppsala University

The present study investigated differences in visual expertise across levels of proficiency in train traffic control during a simulated scenario. Eye tracking metrics reported in a meta-analysis study on visual expertise were used as a theoretical base. The aim of the study was to investigate whether the same results found in the meta-study could be obtained in the less predictable and dynamic work environment of train traffic control. Studies of this character are rare and also notoriously difficult to conduct because of potential noise. Results of the study indicate that eye behaviour seemed to correlate with years of experience also in a more naturalistic setting, but it did not correlate with expert ranking by instructors or a post-hoc measure of proactivity in task performance. A discussion is provided in which a delineation of experience and expertise is postulated in light of the differences between eye movement behaviour and cognitive aspects of problem-solving.

Keywords: visual expertise; eye tracking; experience; train traffic control; rail human factors

Eye tracking studies of visual expertise have repeatedly shown that experts exert a significantly different pattern of eye movements than novices. Studies have been performed with, for example, chess players (Charness, Reingold, Pomplun & Stampe, 2001), artists (Kristjánsson & Ames, 1989), nurses (Currie et al., 2018), map users (Omni, Mauer & Fack, 2014), and a wide variety of sports professionals. Within human factors, studies have been performed with pilots (Schrivver, Morrow, Wickens & Talleur, 2008), drivers (Peter R. Chapman, 1998), and control room operators of air traffic (van Meuzen et al., 2014), road traffic (Sturke, Baber, Cooke & Howes, 2017), and petrochemical processes (Koffsky, Ikuma, Harvey & Aghazadeh, 2014). The aim of this study is to investigate whether the same pattern of eye movement behaviour of experts as observed in previous studies can be elicited in the train traffic control domain during realistic working tasks.

Regarding train traffic control, it has been shown in explorative field studies that train traffic controllers' eye behaviour change over time as they continuously switch between the history and the planning horizons in the digital tools and paper graphs they use. They do this in order to manage both monitoring of all trains in a dedicated geographical region,

The research reported here is funded by the Swedish Transport Administration (Trafikverket), Capacity in the Railway Traffic System (KATT). Correspondence concerning this article should be addressed to Carl-Anton Werner Axelsson, Department of Education, Uppsala University, Sweden. Email: carl-anton.werner.axelsson@edu.uu.se

and the execution of a specific train at a particular meeting point (Axelsson & Jansson, 2018). So far, the domain of train traffic control has not been explored in studies of visual expertise and eye behaviour. Sturman, Wiggins, Auton and Loft (2019) conducted a study on cue-utilization during sustained attention in a rail control task using eye-tracking data. However, they used a control task with a simplified rail control display. Further, they explicitly demanded no previous exposure to rail control operations from their participants. Without connections to representative work tasks, and with undergraduate students as participants, their study does not qualify in the area of visual expertise. In fact, few studies present in the literature make use of dynamic stimuli and they are often performed in stable environments with a lack of representativeness of the everyday environment of the participating experts. One exception is the study by Itoh, Tanaka and Seki (2000) who conducted a study for eye-movement analysis of track monitoring patterns of night train operators and investigated the effects of geographical knowledge and fatigue. However, their results do not generalise to the area of train traffic control since it was conducted on engineers in a night train. Therefore, the domain of train traffic control has not been explored in studies of visual expertise using a naturalistic environment and a task that is representative for the experts. This study explores eye behaviour in a train traffic control simulator to achieve a more naturalistic and dynamic environment in which to study expert eye behaviour.

Visual Expertise

Gegenfurtner, Lehtinen and Säljö (2011) conducted a meta-study using 73 data collections sourced from 65 dif-

Fokusförändringar i beslutsprocessen

Temporal decision processes in traffic control
– a comparison between air-, vessel- and train traffic control

Jonas Lundberg, Magnus Nylin, Gesa Praetorius, Anders A Jansson & Magnus Bång

Abstract. The three domains Air traffic control, Maritime traffic control, and Train traffic control have superficial similarities both in the control room environments, workstation design, and in the processes that they supervise. However, the actual similarity in the work task will determine whether similar tools and operational approaches can also be used across domains. This article compares temporal decision processes in the three domains. Firstly, the article identifies a class of joint human-systems control problems, that occur in all three domains based on two practitioner workshops, each with participants from the three domains. The article then analyzes the respective temporal control processes in more detail highlighting differences and similarities between the three domains using a cognitive work analysis method, the joint control framework. The analysis is based on work episodes that were jointly described and designed by practitioner groups in the second workshop. The article identified a missed control interaction as a common type of joint control problem. The analysis shows similarities in the work patterns leading up to the missed interaction. An intermediate level of processes is identified through the analysis, that lies between general monitoring and work with specific vehicle processes; processes-in-focus that requires intervention, that may involve one or several vehicle processes. The core problem in all three domains is the shift between general monitoring patterns, and processes-in-focus. Implications for system design are discussed.

1. Introduction

When comparing an ATC center, a VTS and a TTM, we were struck by the similarities both in the audio-visual control environments, and in the control tasks. There are in all domains, video-walls/monitors depicting vehicles and their statuses on maps (of the sky, water ways or railways). There are maps of the vehicles, with status indicators in boxes or labels, and regarding important aspects of the environments. In all domains, there is a strive to achieve efficient traffic, while avoiding incidents or accidents. But there are also obvious differences, such as the 3d nature of flight, versus the 2d nature of vessel traffic, and the 1d nature of trains; as well as the differences in authority (control versus suggestive questions). So, a core questions remains – are they sufficiently similar for re-use of technical solutions to common problems (and are there actually common problems, when considering the details behind the labels)?

The purpose of the article is to identify a type of joint human-systems control problem that occurs in three traffic control domains (air, train, and vessel traffic), and to compare temporal decision processes in the three domains in work with this control problem.

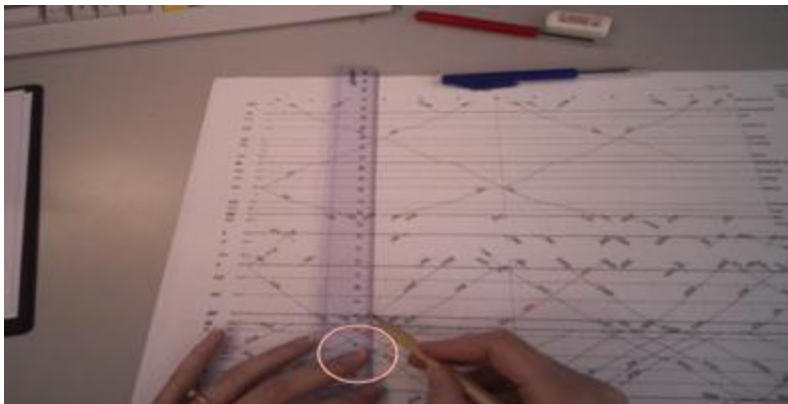
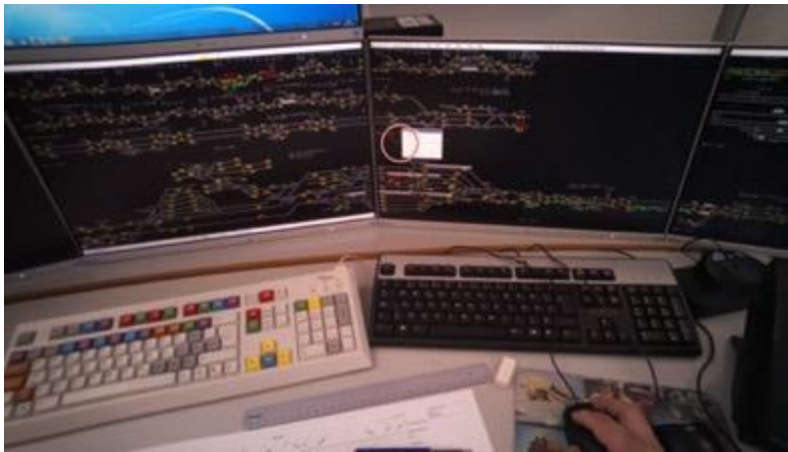
Surface similarities and differences between control domains

Key question:

The visual and audio environments are similar, but vary in the temporal domain, in decisions authority and in the number of vehicles that are monitored. So, is the control process also sufficiently similar to warrant pursuing cross-domain solutions? In that case, regarding what, and how?

Tågtrafikledaren som expert

Studie I – Ögonrörelser och blickbeteende



Studie II – Fokusförändringar i beslutsprocessen



Bakgrund till studierna

Det mänskliga bidraget i praktiken

Vad är det människor bidrar med, på vilka nivåer och på vilket sätt? Hur kan den implicita kunskapen göras mer explicit och tillgänglig? Hur ser överföringen av socialt distribuerad kunskap ut, människor emellan, och mellan människor och digitala system?

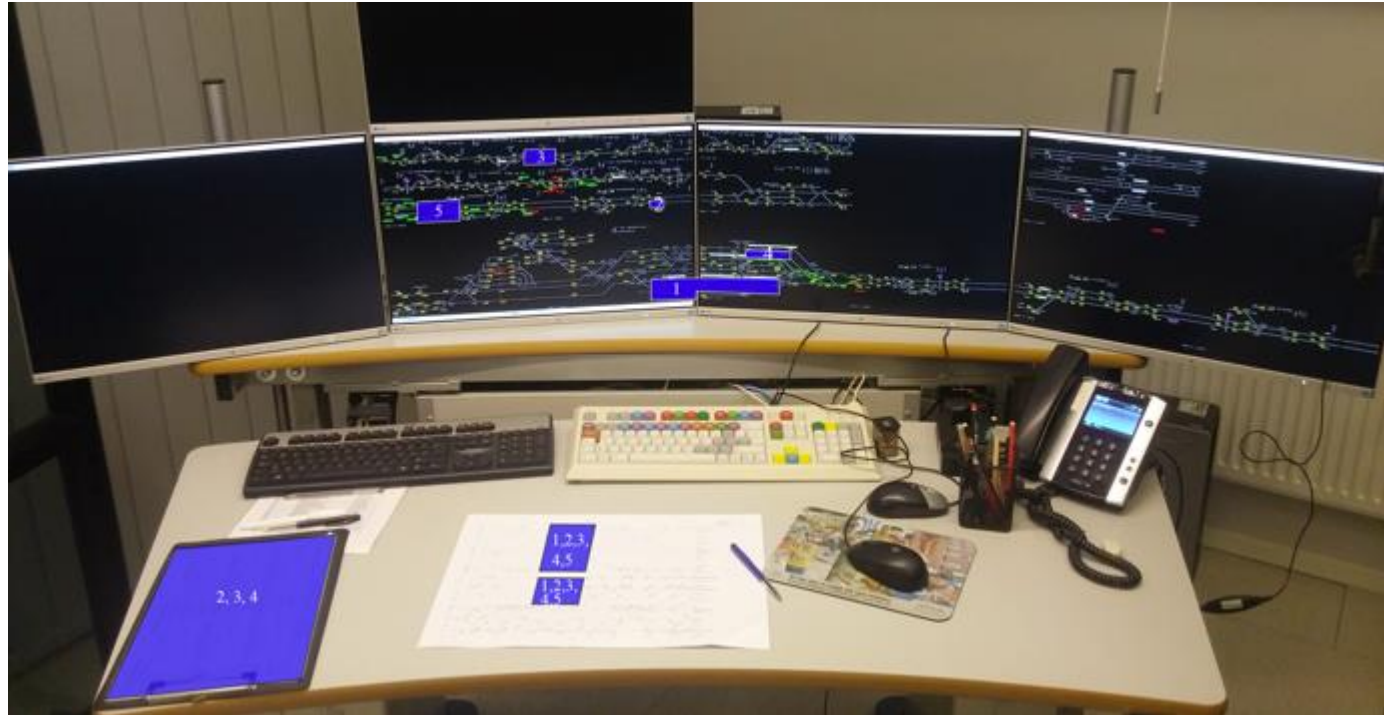
Implicit kunskap är en dold informationskälla som kan användas för att tekniska innovationer ska komma till nytta

- Kollegial verbalisering med "konspektiva" protokoll
- Socialt distribuerade kognitiva processer
- Människor "förhandlar" systemfunktioner, och de gör det friktionsfritt, supersnabbt och ofta utan större ansträngning
- **Men vi vet förvånansvärt lite om hur det går till!**
- **Går det att mäta det mänskliga bidraget?**

Studie I – Blickbeteende hos experter

- **Vad säger tidigare forskning?**
 - I en stor meta-studie (Gegenfurtner, Lehtinen & Säljö, 2010) över 65 studier och 73 dataset om ögonrörelsedata från experter inom olika områden konstaterades att experter har:
 - Kortare fixeringstider
 - Fler fixeringar på relevanta objekt / färre fixeringar på irrelevant områden
 - Kortare fixeringstider och längre sackader för uppgiftsrelevanta objekt
 - Kort och gott: Experter vet var de ska titta/söka, hittar snabbare det de letar efter och fokuserar på det som är viktigt
 - De har effektivare visuella sökmönster och bättre/snabbare allokering av uppmärksamheten
 - Experter har ett mer målinriktat blickbeteende
- **Gäller detta även tågtrafikledare i representativa arbetsuppgifter?**

Experiment i naturlig miljö



Elva tågtrafikledare utförde fem olika uppgifter som en del av experimentet

- Växling
- Signalfel
- Begäran om A-skydd 1
- Begäran om A-skydd 2
- Begäran om högerspårstrafik

Mätning av ögonrörelser med Tobii glasögon

Studie I – Metod

Oberoende variabler (Vad vi undersökte)

- **På förhand**
- Expertis (definierat som erfarenhet mätt i antal år)
- Expertis (definierat som de högst rankade av två oberoende bedömare)
 - Interbedömarreliabilitet = 0.71
 - Korrelationen mellan de två expertismåtten var måttliga 0.42
- **I efterhand**
- Expertis (definierat som förmåga till proaktivitet = poäng för proaktiva lösningar)

Beroendevariabler (Hur vi mätte effekterna)

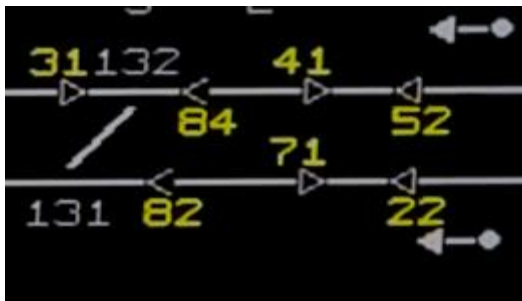
- Antal fixeringar på relevanta områden
- Tid spenderad på relevanta områden
- Tid till första fixering på uppgiftsrelevant område efter det att en händelse initierats
- Sackader i antal pixlar

Studie I – Slutsatser

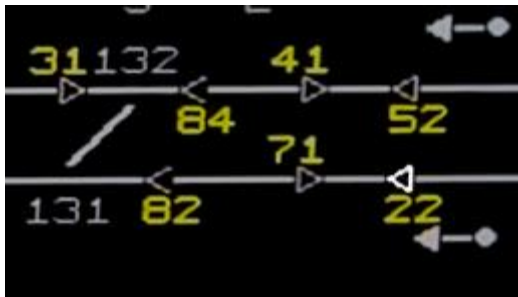
- **När expertis definieras som erfarenhet (antal år)**
 - För tre av beroendemåtten stämmer resultaten med tidigare studier:
 - Antal fixeringar vid relevanta områden, tid man uppehåller sig vid relevanta områden och tid till första fixering korrelerar med erfarenhet. **Blickbeteende är med andra ord starkt kopplat till erfarenhet.**
 - För det fjärde beroendemåttet, sackader i antal pixlar, pekar resultaten i annan riktning. Trafikledare med mindre erfarenhet uppvisar längre sackader!
- **När expertis definieras som de som rankas högst**
 - Här stämmer resultaten från tidigare studier med bara ett beroendemått
 - **Endast tid till första fixering korrelerar med expertis**
- **När expertis definieras som förmåga till proaktivitet**
 - Proaktivitet korrelerar nästan inte alls med blickbeteende
 - För tre beroendemått var korrelationen i stort sett noll
 - För det fjärde beroendemåttet, sackader i antal pixlar, finns en tydlig korrelation med mindre erfarenhet, alltså precis som för expertis definierad som erfarenhet i antal år

Studie I: Domänspecifika mått

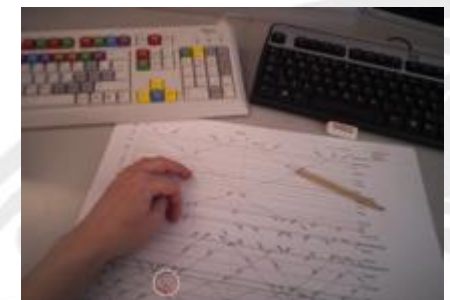
Upptäckt av förändrade tillstånd jämfördes med de tre olika expertismåtten



Gränssnittssymbol för upptäckt av signalfel



Användning av visuella guider jämfördes med de tre olika expertismåtten



Visuella guider som stöd för beslut



Studie I – Slutsatser forts.

- **När olika definitioner av expertis jämförs med användningen av domänspecifika mått**
 - Användning av visuella guider minskar ju längre erfarenhet man har, med hur högt man är rankad och med vilka poäng man har fått i proaktivitet
 - Ju längre erfarenhet man har, ju högre rankad man är och ju högre poäng man har fått i proaktivitet, desto snabbare upptäcker man signalet
- **Sammanfattning**
 - Oavsett hur man definierar expertis så samvarierar den med tid till första fixering. En expert hittar snabbt det som är viktigt att fokusera på
 - De längre sackaderna för de med mindre erfarenhet beror på att de oftare måste titta på pappersgrafiken för att stämma av med vad de ser i gränssnittet
 - För att bli expert är det **nödvänt med ett blickbeteende lämpligt för uppgiften, men det är inte tillräckligt för att nå nivån som expert**
 - Förmågan att uppfatta och använda visuell information är en slags baskompetens hos tågtrafikledare som är experter i sitt arbete, men **expertis sträcker sig in i kognitiva och mer abstrakta förmågor**, vilka av naturliga skäl är svårare att mäta

Studie I – Blickbeteende hos tågtrafikledare

- **Tidigare forskningsresultat gäller bara delvis tågtrafikledare!**
 - Kort och gott: Tågtrafikledare vet var de ska titta, hittar snabbare det de letar efter
 - De har effektivare visuella sökmönster och bättre/snabbare allokering av uppmärksamheten
- **Orsaker till de delvis annorlunda resultaten**
 - Det som skiljer är att tågtrafikledningsuppgiften är väsentligen annorlunda än de flesta andra undersökta liknande arbetsuppgifter, även flygtrafikledning. Visuella förmåga är bara en del av det som krävs för att vara expert i tågtrafikledning. En väsentlig del av expertisen ligger i kognitiva förmågor som har tränats upp med åren men som inte avslöjas av visuella sökmönster.
 - Domänspecifika mått som visuella guider och förmåga att hitta rätt symboler i gränssnittet är bättre mått på expertis i tågtrafikledningen än de rent visuella måtten
 - En tredje förklaring kan vara att vi undersökt representativa arbetsuppgifter i naturlig miljö. Det är ovanligt med sådana studier

Studie II – Fokusförändringar i beslutsprocessen

- Om expertis i tågtrafikledning inte bara är en förmåga att vara visuellt orienterad och att snabbt kunna hitta – vad består det kognitiva av?
- Hur mycket skiljer sig tågtrafikledarens arbete från övriga operatörer inom transportsektorn (flygledare och VHS-operatörer inom sjöfart)?
- Hur viktig är tidsaspekten i de tre domänerna, och hur viktig är den i en specifik situation?
 - När är det lätt att missa viktig och relevant information?
- För att undersöka dessa frågor involverade vi trafikledare från alla tre domäner i två omgångar av workshops
 - För tågtrafiken deltog två tågtrafikledare från TLC Stockholm i workshop 1
 - En av uppgifterna (växling) från Studie I som genomfördes i träningssimulatore i Norrköping användes som utgångspunkt för workshop 2
 - Samma två tågtrafikledare från TLC Stockholm deltog även i workshop 2

Studie II -Metod

- Workshop 1
 - Identifiera skillnader och likheter mellan domänerna
 - Fokus på säkerhet och effektivitet
 - Identifiera representativa och typiska arbetsuppgifter
 - Underlag för att utveckla scenerier
- Workshop 2
 - Presentation av ett scenario i en simulatorliknande miljö
 - Modeller av typiska vardagliga arbetsuppgifter
 - En specifik uppgift om information man lätt missar
 - Domänexperterna används som expertguider i modelleringsarbetet

Studie II – Metod forts.

- **Gamla Kröken (Åby, Norrköping)**
 - Hämtat från träningssimulatoren i Norrköping. Påhittad realistisk uppgift som bygger instruktörernas erfarenhet. Fokus på information som lätt kan missas, vilket också inträffade i övningen
- **Öjebyn (Piteå – Arnemark)**
 - Baserat på främst STEG, hämtat från olycksfallsrapporterna, verklig händelse (Haverikommissionen och Trafikverket)
 - Fokus på planeringsfunktionens effekter på situationsmedvetenheten. Säkerhetsrelaterat.
- **Järna-Mölnbo (Stockholms TLC)**
 - Baserat på Digital Graf, hämtat från avvikelserapport i Synergi.
 - Digital dokumentation ny arbetsuppgift. Fokus på arbetsmiljö/stress
 - Stor betydelse i trafiktäta områden



5



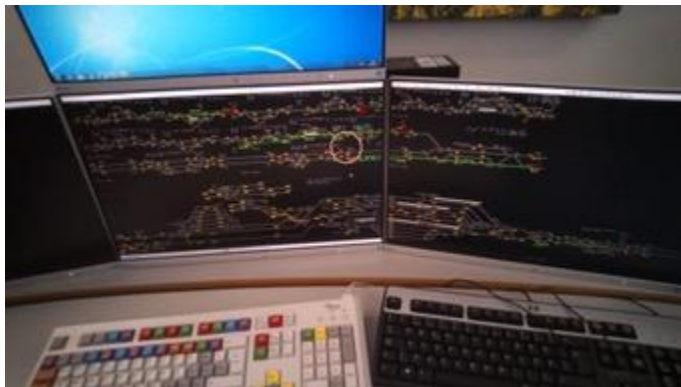
1



6



8



Scenario som användes i workshop 2 - växling

- 1 12.30 TKL fäller tågväg förbi Åby för tåg 21530
- 2 12.31 TKL tar emot begäran om växling till Gamla Kröken
- 3 12.32 TKL övervakar och fäller tågvägar till övrig trafik
- 4 12.35 21530 anländer in på sträckan, TKL övervakar växling
- 5 12:35 TKL fixerar 21530 utan att registrera att körsignal saknas
- 6 12:35 Lokföraren på 21530 ringer till TKL om stoppsignal
- 7 12:36 TKL förbereder tågväg för 21530
- 8 12:36 21530 får körsignal in mot Simonstorp
- 9 12:36 Samtal med lokförare avslutas

Workshop 2 – Analys





Analys och modellering

Beslut

Perception

Handling

Gränssnitt

Syfte

Beslut om att tåg kan åka

Finns tid för omplanering?

Varför ?

Effekter

Övervakar växling

Beslut om växling

Inser att tåget inte kör

Värden

Kollar telefonen vem som ringer

Beräknar tid till växling

Vad ?

Generiska lösningar

Fäller tågväg

Snabbt beslut – kör

Informerar kollegor

Implementering

Kollar lägesbild

Lokföraren ringer

Exekverar beslut

Hur ?

Fysiskt

Studie II – Slutsatser

- **Stora likheter mellan tågtrafikledning, flygtrafikledning och sjöfart**
 - I alla tre domänerna skiftar operatörerna mellan översiktligt trafikanalys och fokuserad hantering av enskilda fordon, farkoster och flyg.
 - I alla tre domänerna skiftar operatörerna mellan abstrakta nivåer med mål och syften till konkret interaktion med gränssnitten, både på input- och outputsidan
 - I alla tre domänerna är tidsaspekten avgörande för agerandet, men på olika sätt
 - I alla tre domänerna har beslutsuppgifterna ”naturliga slut”
- **Skillnader**
 - Tågtrafikledning har större inslag av rent kognitiva uppgifter, vilket bland annat beror på annorlunda tidsskalor, och mer indirekt återgivning av den fysiska miljön i gränssnittet
 - Med införande av Digital Graf och liknande modernare stödsystem kommer uppgiften att vara tågtrafikledare att förändras, och förmodligen också innebörden av att vara expert, eftersom sådana system i högre utsträckning utnyttjar visuella komponenter på ett bättre sätt än idag

Slutsatser – Studie I och II

- **Går det att mäta och modellera det mänskliga bidraget i trafikledningsarbeten av den typ som tågtrafikledning utgör?**
 - Ja, det går, men det kräver att man förstår hur resultaten ska tolkas
 - Det finns aspekter som bättre låter sig beskrivas genom kvalitativa ansatser
 - Ju närmare de domänspecifika villkoren och uppgifterna man kan komma, desto större chans att man närmar sig vad expertis är inom just det området
 - Nya system och arbetsuppgifter kommer att förändra vem som blir expert och hur man ska mäta detta